

02/8089-SNY

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09218032 A**

(43) Date of publication of application: **19 . 08 . 97**

(51) Int. Cl

**G01B 15/00**

**G01B 21/32**

(21) Application number: **08026604**

(22) Date of filing: **14 . 02 . 96**

(71) Applicant: **NIPPON TELEGR & TELEPH  
CORP <NTT>**

(72) Inventor: **ODA MASATOSHI  
UCHIYAMA SHINGO  
MATSUDA KOREHITO**

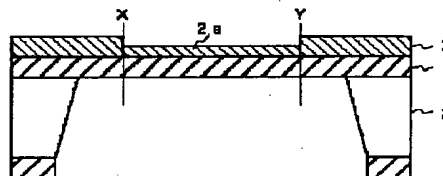
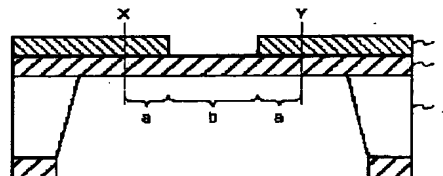
(54) **METHOD FOR CALCULATING POSITIONAL  
DISTORTION OF PATTERN**

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To simulate the positional shift of a pattern formed on an absorbing body more easily 'by calculating the displaced state of pattern while assuming that the absorbing body has film thickness distribution corresponding to the density distribution of pattern.

**SOLUTION:** Assuming that a punched pattern and a boundary are not present in a region for calculating distortion but the film thickness is decreasing uniformly over the entire area, a differential equation for balance can be solved very easily without employing a boundary condition formula. When this method is employed, any intricate pattern can be handled as a variation of film thickness corresponding to the density so long as the density is known. Displaced state of pattern is calculated assuming that the absorbing body has film thickness distribution corresponding to the density distribution of a pattern to be formed thereon. Consequently, the positional shift of pattern can be simulated more easily even for an intricate pattern without requiring an intensive labor for obtaining a solution.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-218032

(43) 公開日 平成9年(1997)8月19日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 1 B 15/00  
21/32

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 1 B 15/00  
21/32

技術表示箇所

A

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平8-26604

(22) 出願日 平成8年(1996)2月14日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 小田 政利

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 内山 真吾

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 松田 維人

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

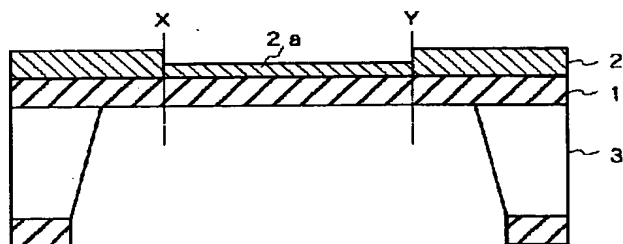
(74) 代理人 弁理士 山川 政樹

(54) 【発明の名称】 パタン位置歪の算出方法

(57) 【要約】

【課題】 より簡単に、パタンの位置ずれをシミュレートできるようにすることを目的とする。

【解決手段】 抜きパタン32密度により発生するマスクの変形を算出する。すなわち、抜きパタン32の密度に応じ、これが形成されるマスク基板31上の吸収体の膜厚が変化しているとして、マスクの変形を算出する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 周辺を支持体で支えられ、X線を良く透過する材料からなるマスク基板と、X線を遮断する吸収体からなり前記基板上に形成されたパタンとから構成されたX線マスクの前記パタン位置の変位状態をシミュレートするパタン位置歪算出方法において、前記パタンの密度分布に対応して前記吸収体の膜厚が分布しているものとして前記パタンの変位状態を算出することを特徴とするパタン位置歪の算出方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、X線を用いて半導体やガラス材料などからなる基板上に集積回路パタンを形成するX線露光における、X線マスクのパタン位置歪の算出方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】半導体集積回路では、大容量化や高性能化を達成するために、使用されるパタンの幅は微細化の一途をたどっており、近年では0.3~0.4 $\mu$ m幅のパタンが用いられている。これまで一般に用いられてきたパタン形成方法は、紫外線露光方法と呼ばれるもので、集積回路製造で広く用いられ高い実績を上げている。しかし、この手法では、パタン幅が露光光源として用いる紫外線の波長(約0.35 $\mu$ m)以下になると、回折現象が大きくなり、パタン形成が著しく困難になってしまう。そこで、エキシマレーザなどの遠紫外光を露光光源として用いる研究もなされているが、この手法でも0.2 $\mu$ m以下のパタン形成は困難なものとされている。

【0003】そこで、波長0.5~1.5nmの軟X線を用いるX線露光技術が注目されている。X線は波長が短いことから回折現象も小さく、これを露光光源として用いれば、0.1 $\mu$ m以下のパタンでも容易に転写することができる。近年、小型SOR(Synchrotron Orbital Radiation:シンクロトロン軌道放射)装置の開発により、強力なX線源がある程度容易に入手できる見通しが得られたことから、X線露光技術はにわかに脚光を浴びている。

【0004】X線露光技術の最大の問題は、マスクの製造にある。紫外線露光では、マスクに用いるガラス基板が十分に厚く(約6mm)できるので歪が生じにくい。また、遮光パタンは、0.1 $\mu$ m以下の厚さのクロムなどの金属膜で構成できる。そして、通常では、転写するパタンを縮小投影露光系を介して1/5程度に縮小して転写するようにしている。従って、紫外線露光では、マスクパタンの精度は大きな問題とならなかった。

【0005】しかし、X線露光の場合、効果的なレンズはないので、マスクパタンは等倍で基板に転写される。転写時に発生する精度低下を考慮すると、X線マスクのパタンは、転写パタンに要求される精度より高精度に形

成しなければならない。ところが、X線マスクの構造を見ると、マスクの吸収体は0.5~1 $\mu$ m近くの厚さでないとX線を十分に遮光できない。一方、X線マスクの基板は、1~2 $\mu$ mの薄さでないとX線を十分に透過しない。

【0006】このため、紫外線露光用のマスクパタン(遮光パタン)より、数倍厚い吸収体を寸法精度良く加工する技術が必要である。また、吸収体や基板に内部応力が存在すると、このように薄いマスク基板は容易に変形し、正確な位置にパタンを形成することができないので、このことに関する対策も必要である。

【0007】以下、一般的なX線マスクの製造に関して図7を用いて説明する。まず、シリコンからなるウエハ11の表面と裏面にマスク基板となるX線透過膜12を堆積形成し、続いてその表面に形成したX線透過膜12の上に吸収体となる金属膜13を形成する。そして、金属膜13上にこのエッチングマスクとなる酸化膜14を形成する(図7(a))。次に、この酸化膜14上に電子ビーム露光によるリソグラフィ技術で所望のパタン形状のレジストパタン15を形成し(図7(b))、これをマスクとして酸化膜14をエッチングして酸化膜マスク14aを形成する。

【0008】次いで、レジストパタン15を除去した後、その酸化膜マスク14aをマスクとして金属膜13をエッチングして吸収体パタン13aを形成する(図7(c))。次に、裏面よりウエハ11をエッチングしてくり貫き(図7(d))、これを補強フレーム16に固定する(図7(e))。この裏面よりウエハ11をエッチングしてくり貫く工程は、レジストパタン15を形成する前におこなうようにしても良い。

【0009】以上のようにして製造されるX線マスクの吸収体パタンの寸法精度は、電子ビーム露光技術とドライエッチング技術の発展により次第に向上しており、0.1 $\mu$ m以下のパタンを高精度に加工できるようになってきた。しかし、形成したパタンの位置精度については、応力制御技術の開発が精力的に行われているにもかかわらず、大きな精度向上の進展がなされていない。最近、そのパタンの位置精度を改善する一つの有力な方法が提案された。これは、一度通常の方法でX線マスクを作製し、生じた位置ずれを測定し、次にX線マスクを作製するときに、この位置ずれが相殺できるだけ位置をずらしてパタンを形成する方法である。

【0010】実際、この方法を用いると、従来発生していた0.1 $\mu$ mの位置ずれを0.06 $\mu$ m以下に抑制することができる。しかし、この方法では、2回以上のマスク作製をおこなう必要があるため、最終的なマスクを作製するまでに、長時間を要するという問題があった。そして、この方法においても、位置ずれを0.05 $\mu$ m以下にするのは困難であった。それは、吸収体およびマスク基板の応力がマスク毎にばらついているため、発生

10

20

30

40

50

する位置ずれがマスク毎に異なるためである。

【0011】そこで、マスク基板のみの応力および吸収体堆積後の応力を測定し、これらの応力によりパタンの位置ずれをシミュレートし、その結果を考慮することができれば上述した問題は解消され、高いパタン位置精度のマスクを短期間で作製することができる。ここで、パタン位置ずれを正確にシミュレーションする方法が大きな問題となる。もしこの方法が開発されれば、X線マスクの精度が大きく改善され、X線リソグラフィの実用化が急速に進展する可能性がある。

#### 【0012】

【発明が解決しようとする課題】ところで、吸収体やマスク基板の平均的な応力以外に、極めて微小な応力の不均一があり、これがX線マスクのパタン位置精度に大きな影響を生じることが知られている。吸収体膜の面内の2点間に応力勾配があると、これが形成されているマスク基板は変形する。実際、マスク基板や吸収体の薄膜を、スパッタ法、CVD法で堆積すると、応力は堆積面内で不均一となり、この応力分布に従ってマスクが変形する。しかし、応力が不均一であっても、その分布を正確に測定することができ、かつ吸収体がパタン形成されていない平坦な膜であるとき、このマスク基板の変形は力の釣り合いの微分方程式を解くことで容易に求めることができる。

【0013】しかし、実際のX線マスクでは、吸収体が所定の形状にエッチング加工され、その結果、応力を持つ膜が部分的に除去される。エッチングされた部分が少ない、すなわち、パタン密度が小さい領域では、吸収体を堆積した状態での応力分布がそのまま保持される。しかし、エッチングされた部分が多い、すなわち、パタン密度が大きい領域では、エッチングしてパタン形成されたことによって応力分布が大きく変化する。以下、パタン密度とは、吸収体に所定のパタンが形成されることで、吸収体が除去された部分の面積和の全面積に占める割合を示すこととする。

【0014】以上のことにより、パタン形成された吸収体を持つマスクは、パタン密度に応じてパタンの位置ずれ量が異なる。パタンの位置ずれをシミュレーションするときは、この影響を考慮に入れなければならない。しかし、集積回路のパタンは非常に複雑であり、個々のパタンの形状をすべて考慮したシミュレーションは不可能であり、このことがシミュレーションの大きな障害となっていた。

【0015】この発明は、以上のような問題点を解消するためになされたものであり、より簡単に、パタンの位置ずれをシミュレートできるようにすることを目的とする。

#### 【0016】

【課題を解決するための手段】この発明のパタン位置歪の算出方法は、吸収体に形成されるパタンの密度分布に

対応して吸収体の膜厚が分布しているものとしてパタンの変位状態を算出するようにした。変位状態の算出においては、吸収体の有る無いといった境界が存在しない。

#### 【0017】

【発明の実施の形態】以下この発明の実施の形態を図を参照して説明する。まず、この発明の概略について説明する。この発明は、パタン密度により発生するマスクの変形を算出するものであり、個々のパタンで発生する変形を積み重ねるのではなく、吸収体にはパタンが形成されていないと想定し、パタン密度に応じて吸収体の膜厚が変化しているとして、マスクの変形を算出するようにしたものである。

【0018】吸収体にパタンを形成したときに、その領域では、吸収体の応力とその膜としての剛性が変化する。図1は、X線マスクの構成を示す断面図であり、1はX線を透過するマスク基板、2はパタン形成されX線を吸収する吸収体、3はマスク基板1を支持するシリコンウエハである。厚さ $t$ の吸収体2が残された領域aでは、吸収体2の応力を $\sigma$ とすると $t \times \sigma$ の力がマスク基板に作用する。しかし、吸収体2がエッチングされた領域bには、マスク基板1に作用する力はない。

【0019】領域aと領域bの外側の点X、Yからこの領域をみると、領域bがないときには $t \times \sigma$ の力が全体に作用しているが、領域bがあるときにはその大きさに反比例して、マスク基板1に加わる $t \times \sigma$ の力が減少したように見える。一方、膜としての剛性についても、領域aでは吸収体2とマスク基板1の2層膜として剛性を持っているが、領域bではマスク基板1のみでの剛性しかない。このため、X、Y点からみると、領域bが大きくなればなるほど剛性が減少したように見える。

【0020】領域bが形成されたときの応力と剛性の変化をX、Y点からみると、図2に示すように、領域aと領域b全域では、吸収体2の厚さが均一に減少した吸収体2aがあるものと等価であると考えられる。そして、このときの膜厚の減少率は、領域aと領域bとを含めた全域において、領域bが占める比率に等しいと近似できる。

【0021】例えば、マスク基板1上のある領域内において、吸収体2がエッチング除去されることで形成された抜きパタン面積が、その領域全面積の30%に当たる場合、領域全部の吸収体膜厚が30%減少したと考えることができる。図1では、XY間で領域bが1カ所であるが、領域aと領域bとが任意の比率で繰り返されている場合でも、領域bの合計が全体に占める比率、すなわちパタン密度に対応するだけ、吸収体2の膜厚が均一に薄くなったと考えることができる。

【0022】ところで、図1において、XY間の領域におけるパタン歪を、従来通りに計算するときには、領域aと領域bの境界毎に境界条件の式を用いながら、釣り合いの微分方程式を解く必要がある。このため、領域a

10

20

30

40

50

と領域bが非常に小さく、数多く繰り返されている場合には、解を得るために非常に多くの手間がかかり困難を極める。従って、集積回路パタンのように微細で複雑な場合には、境界条件を用いる方法は非現実的である。

【0023】しかし、その歪を計算する領域内で、抜きパタンがあつて境界があるのではなく、全体に膜厚が均一に減少していると考えれば、境界条件の式を用いることが無く、非常に簡単に釣り合いの微分方程式を解くことができる。この方法を用いると、どのように複雑なパタンであっても、パタン密度さえ明らかになればその密度に対応して膜厚が変化したものとして取り扱うことができる。

【0024】以下、この発明のパタン位置歪の算出方法について、より詳細に説明する。ここでは、簡単なパタンで構成された20×20mmのチップが、30×30mmのX線透過領域(有効領域)を持つX線マスクに関して説明する。20×20mmの領域は、図1、2においてXY間の領域に相当する。この20×20mmのチップには、図3の平面図に示すような、マスク基板31上に0.5mm角の抜きパタン32が、1mmおきにマトリクス状に複数形成されている。抜きパタン32は、吸収体がなくX線が透過する部分である。なお、33は、やはり1mmおきに配置された位置測定用の十字マークである。この十字マーク33は、設計上は正方配置する4つの抜きパタン32の中心に位置しているものである。

【0025】このX線マスクは、マスク基板31として、シリコンウエハ(図示せず)上に気相成長法により形成したSiNを用いた。この膜厚は2μmとした。このとき、高精度そり測定器により、SiN膜が形成されたシリコンウエハのそりを測定したところ、このSiN膜の応力は、ウエハ面内ではほぼ均一であり、 $6.8 \times 10^8 \text{ dyn/cm}^2$ であることが判った。そして、このマスク基板31上に、抜きパタン32を形成するための吸収体膜として0.65μmの膜厚のTa膜をRFスパッタにより堆積した。このTa膜形成直後のそりを上述と同様に測定して、Ta膜の応力分布を求めた。

【0026】また、このTa膜には、この上にECRプラズマCVDにより堆積形成したシリコン酸化膜に形成したパタンをマスクとしたエッチング処理により、パタン形成した。シリコン酸化膜のパタン形成は、以下に示すようにしておこなう。まず、このシリコン酸化膜上に電子線レジストを塗布し、これに電子ビームで所望のパタンを描画し、これを現像することでレジストパタンを形成する。そして、このレジストパタンをマスクとして、シリコン酸化膜を選択的にエッチング除去する。このエッチングは反応性イオンエッチングによりおこなった。また、図3には示していないが、表面にマスク基板31を形成したシリコンウエハは、裏面より濃度30%の水酸化カリウム溶液によるエッチングをおこない、図

1、2に示すように、有効領域に対応する部分を開放した。

【0027】以上のことにより、図3に示すX線マスクが作製されるが、まず、この形成した抜きパタン32について、その密度を求める。これは、上述した電子ビーム露光の際に用いた描画データを用いて、パタン密度を求めるようにすればよい。この実施の形態の場合は、抜きパタン32がマスク基板31の有効領域に対して25%を占めている。この実施の形態の場合は、このように電子ビームの描画データを用いるまでもなく、図3からも容易にパタン密度が求められるが、実際の集積回路パタンは複雑であり、電子ビーム描画データよりパタン密度を求めることとなる。

【0028】そして、以下の式に示す差分法により、抜きパタン32の代表位置座標(x, y)がマスク歪によりどれだけ移動するかの移動量を示す変位(u, v)を、各パタンそれぞれについて計算した。

$$\begin{aligned} & \text{【0029】} (\partial^2 u / \partial x^2 + \partial^2 u / \partial y^2) + (1 + \nu) / (1 - \nu) \times \partial / \partial x (\partial u / \partial x + \partial v / \partial y) - 1 / (1 - \nu) \times \partial / \partial x (p / G) = 0 \\ & (\partial^2 v / \partial x^2 + \partial^2 v / \partial y^2) + (1 + \nu) / (1 - \nu) \times \partial / \partial y (\partial u / \partial x + \partial v / \partial y) - 1 / (1 - \nu) \times \partial / \partial y (p / G) = 0 \end{aligned}$$

$$G = (E_1 t_1 + E_2 t_2) / (t_1 + t_2) / \{2(1 + \nu)\},$$

$$p = (\sigma t_1) / (t_1 + t_2)$$

【0030】上式において、 $E_1$ は吸収体(Ta膜)のヤング率、 $t_1$ は吸収体の膜厚、 $E_2$ はマスク基板31のヤング率、 $t_2$ はマスク基板31の膜厚、 $\nu$ はポアソン比、 $\sigma$ は吸収体の応力である。この吸収体の応力 $\sigma$ は、前述した測定により得られたTa膜(吸収体)の応力分布を用いる。また、抜きパタン32の代表位置座標(x, y)としては、実際には、近隣(図3中右下)の十字マーク33の中心位置座標を用いる。

【0031】そして、この実施の形態においては、吸収体の膜厚 $t_1$ は、測定された膜厚ではなく、パタン密度25%分が減少したとして、 $0.65 \mu\text{m} \times (1 - 0.25) = 0.49 \mu\text{m}$ とする。すなわち、パタンが形成されているチップ領域(20×20mmの領域)では吸収体の膜厚が0.49μmとし、その外側の有効領域(30×30mmの領域)では吸収体の膜厚が0.65μmとして計算する。

【0032】なお、この実施の形態では、チップ領域内で抜きパタン32が均一に配置されているが、実際の集積回路では、パタン密度は場所によって異なるので、パタン密度が異なる領域毎に $t_1$ を計算する。そして、最後に、マスク基板31の応力でこれが形成されているシリコンウエハの収縮を考慮して、この影響を上述の計算結果に加味する。すなわち、ウエハ面内ではほぼ均一なSiN膜の応力 $6.8 \times 10^8 \text{ dyn/cm}^2$ を、上式によ

る結果に加味する。

【0033】図4は、上式において、 $t_1$  が有効領域全域で一定として、マスクの歪による各抜きボタン32の変位計算の結果を矢印で示す平面図である。また、図5は、 $t_1$  をボタン密度に応じて変化させた、すなわちチップ領域では吸収体の膜厚が $0.49\mu\text{m}$ となっているとして、マスクの歪による各抜きボタン32の変位計算の結果を矢印で示す平面図である。同図において、矢印線のもと（出発点）が抜きボタン32（十字マーク33）の設計値上の座標であり、矢印の先がマスクのたわみによって移動した先の座標を示している。なお、黒点は、変位がなかったことを示している。

【0034】一方、図6は、上述したX線マスクの十字マーク33の中心位置座標を、ボタン位置測定器で実際に測定した結果を示す平面図である。この図6においても、矢印線のもととは抜きボタン32（十字マーク33）の設計値上の座標であり、矢印の先が測定の結果得られた座標を示している。この図6を、図4および図5と比較すると、より図5にその傾向が近い。

【0035】そして、以上の結果を踏まえて、形成する抜きボタン32の位置を修正したX線マスクを作製した。すなわち、マスク歪が、図5に示すようになるものと想定し、その歪量（ボタン変位量）だけ形成するボタン位置をそれぞれ補正し、この描画データを用いてボタン形成をおこなった。その結果、その修正マスクのボタン位置の状態を測定したら、マスク全領域の最大歪が $35\text{nm}$ と非常に小さいものとなった。図6の状態では、最大歪が $0.2\mu\text{m}$ を越えているが、この修正マスクで

は、これがほとんど補正された状態となっている。

#### 【0036】

【発明の効果】以上説明したように、この発明では、吸収体に形成されるボタンの密度分布に対応して吸収体の膜厚が分布しているものとしてボタンの変位状態を算出するようにした。このため、この発明によれば、複雑なボタン配置形状であっても、解を得るために非常に多くの手間がかかることなく、より簡単に、ボタンの位置ずれをシミュレートできるという効果を有する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 X線マスクの構成を示す断面図である。

【図2】 応力と剛性の変化を吸収体2の厚さが均一に減少したものとしたX線マスクの構成を示す断面図である。

【図3】 X線マスクの構成を示す平面図である。

【図4】 マスクの歪による各ボタンの変位計算の結果を矢印で示す平面図である。

【図5】 マスクの歪による各ボタンの変位計算の結果を矢印で示す平面図である。

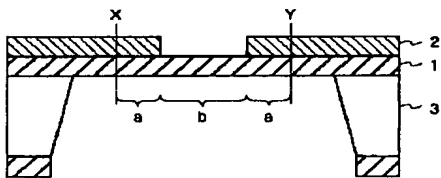
【図6】 マスクの歪による各ボタンの変位状態をボタン位置測定器で実際に測定した結果を示す平面図である。

【図7】 一般的なX線マスクの製造を説明するための断面図である。

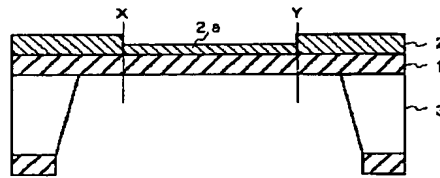
#### 【符号の説明】

1…マスク基板、2、2a…吸収体、3…シリコンウエハ、31…マスク基板、32…抜きボタン、33…十字マーク。

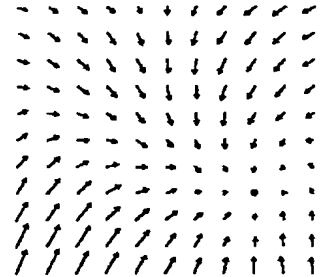
【図1】



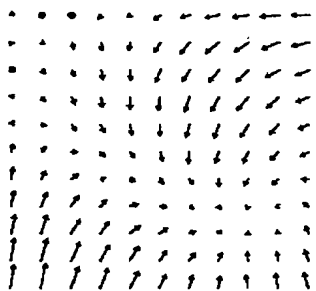
【図2】



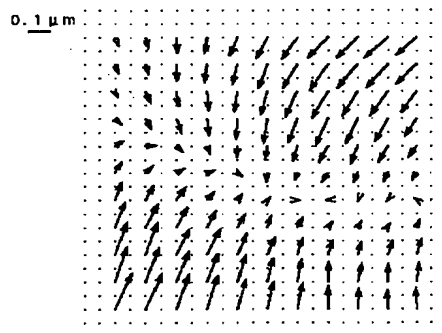
【図4】



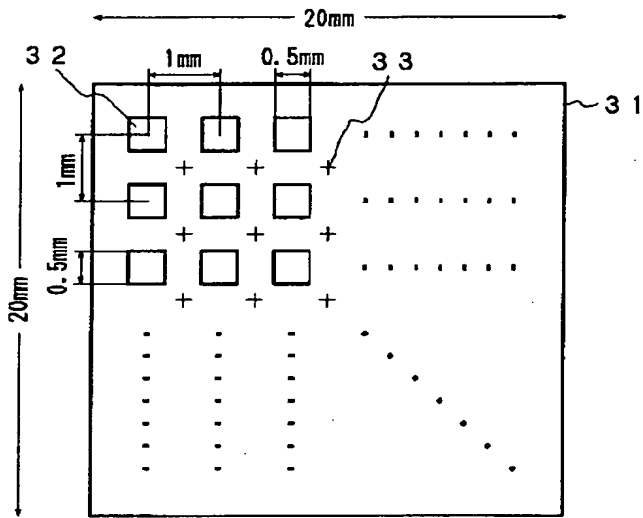
【図5】



【図6】



【図3】



【図7】

